10/530690

PCT/IB 0 3 / 0 5 0 4 1

08. 12. 03

INPI
INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE

BREVET D'INVENTION

REC'D 17 DEC 2003
WIPO PCT

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 08 OCT. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE
SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

Best Available Copy

INPI

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES
DATE
LIEU 15 OCT 2002
75 INPI PARIS B
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0212825
DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 15 OCT. 2002

INPI
15 OCT. 2002

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL
Département PI
Michel Robert FOURNIER
30 avenue Kléber
75116 PARIS

Vos références pour ce dossier *(facultatif)* 104334/RF/OOCD/TPM

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

2 NATURE DE LA DEMANDE	Cochez l'une des 4 cases suivantes
Demande de brevet	☒
Demande de certificat d'utilité	☐
Demande divisionnaire	☐
Demande de brevet initiale	N° Date / /
ou demande de certificat d'utilité initiale	N° Date / /
Transformation d'une demande de brevet européen *Demande de brevet initiale*	☐ N° Date / /

3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

AMPLIFICATEUR OPTIQUE A SEMICONDUCTEURS A STABILISATION DE GAIN LATERALE ET DISTRIBUEE

4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE	
	Pays ou organisation Date / / N°
	Pays ou organisation Date / / N°
	Pays ou organisation Date / / N°
	☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

5 DEMANDEUR		☐ S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL
Prénoms		
Forme juridique		Société Anonyme
N° SIREN		5 4 2 0 1 9 0 9 6
Code APE-NAF		
Adresse	Rue	54, rue La Boétie
	Code postal et ville	75008 PARIS
Pays		FRANCE
Nationalité		Française
N° de téléphone *(facultatif)*		
N° de télécopie *(facultatif)*		
Adresse électronique *(facultatif)*		

INPI

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES
DATE
LIEU 15 OCT 2002
75 INPI PARIS B
N° D'ENREGISTREMENT
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0212825

INPI
15 OCT. 2002

Vos références pour ce dossier : *(facultatif)*		104334/RF/OOCD/TPM
6 MANDATAIRE		
Nom		FOURNIER
Prénom		Michel Robert
Cabinet ou Société		Compagnie Financière Alcatel
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		PG 9222
Adresse	Rue	30 Avenue Kléber
	Code postal et ville	75116 PARIS
N° de téléphone *(facultatif)*		
N° de télécopie *(facultatif)*		
Adresse électronique *(facultatif)*		
7 INVENTEUR (S)		
Les inventeurs sont les demandeurs		☐ Oui ☒ Non **Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée**
8 RAPPORT DE RECHERCHE		**Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)**
Établissement immédiat ou établissement différé		☒ ☐
Paiement échelonné de la redevance		**Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques** ☐ Oui ☒ Non
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		**Uniquement pour les personnes physiques** ☐ Requise pour la première fois pour cette invention *(joindre un avis de non-imposition)* ☐ Requise antérieurement à ce dépôt *(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :*
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		

10 SIGNATURE DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

Michel Robert FOURNIER / LC 40 B

VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

AMPLIFICATEUR OPTIQUE À SEMICONDUCTEURS À STABILISATION DE GAIN LATÉRALE ET DISTRIBUÉE

L'invention concerne le domaine des dispositifs optiques, et plus particulièrement celui des amplificateurs optiques à semiconducteurs à gain stabilisé, plus connus sous l'acronyme anglais CG-SOA (pour « Clamped Gain-Semiconductor Optical Amplifier »).

Les amplificateurs optiques CG-SOAs sont des structures semiconductrices qui comprennent un guide d'onde actif, éventuellement effilé, s'étendant suivant une direction longitudinale, et couplé, comme illustré sur la figure 1, à une cavité résonnante, constituée par au moins un réseau de Bragg distribué (ou DBR pour « Distributed Bragg Reflector »), placé à une extrémité longitudinale du guide d'onde actif, sensiblement perpendiculairement à l'axe longitudinal Z. Ce couplage induit des oscillations laser qui permettent de stabiliser la densité de porteurs de la structure, et par conséquent son gain. Grâce à cette stabilisation de la densité de porteurs, on peut supprimer les variations de gain qui surviennent normalement dans les amplificateurs optiques classiques en présence de variations de la puissance d'entrée. Le gain peut ainsi demeurer sensiblement constant sur une large plage de paramètres de fonctionnement tels que la puissance d'entrée, la puissance de sortie et le courant de commande. De plus, contrairement aux amplificateurs classiques, les amplificateurs optiques CG-SOAs présentent une diaphonie (ou « crosstalk ») réduite. Ils sont par conséquent particulièrement bien adaptés à la commutation optique par multiplexage en longueurs d'onde (ou WDM pour « Wavelength Division Multiplexing »).

Cependant, du fait que c'est le gain accumulé le long la direction longitudinale et non pas le gain en tout point de la direction longitudinale qui est stabilisé par l'effet laser, et du fait qu'ils présentent une fréquence d'oscillations de relaxation qui n'excède pas quelques gigahertz (GHz), ces amplificateurs optiques CG-SOAs ne permettent une réduction de diaphonie que pour des bas débits, typiquement inférieurs à 1Gbits/s. Au delà de ces débits, la diaphonie redevient prépondérante.

Pour remédier à cet inconvénient, il a été récemment proposé une nouvelle structure appelée amplificateur optique linéaire (ou LOA pour « Linear Optical Amplifier »). Cette structure comporte un très long VCSEL (« Vertical Cavity Surface Emitting Laser ») permettant de stabiliser le gain verticalement tout en réduisant la diaphonie de façon importante, y compris à haut débit.

Cependant, la réalisation de ce type de structure est particulièrement complexe, notamment du fait qu'elle nécessite des miroirs verticaux et une structure SOA horizontale. De plus, ce type de structure est consommateur de courant du fait que le courant de commande doit traverser au moins un miroir de Bragg.

L'invention a donc pour but de remédier à tout ou partie des inconvénients précités.

Elle propose à cet effet un amplificateur optique à semiconducteurs à gain stabilisé (ou CG-SOA), comprenant un guide d'onde actif comportant un milieu d'amplification et couplé à une structure d'oscillations laser.

Par définition, on considère que la structure de l'amplificateur optique s'étend selon trois directions perpendiculaires entre-elles, une direction dite « longitudinale » (Z), définissant l'axe longitudinal de l'amplificateur optique (et par conséquent son extension longitudinale (ou longueur)), une direction dite « latérale » (X), définissant l'extension latérale (ou largeur) de l'amplificateur optique, et une direction dite « verticale » (Y), définissant la direction d'empilement des couches et l'extension verticale (ou hauteur) du guide d'onde actif.

Cet amplificateur optique de type CG-SOA se caractérise par le fait que sa structure d'oscillations laser comporte au moins deux cavités résonnantes s'étendant selon des première et seconde directions, différentes de la direction longitudinale (Z) du guide d'onde actif, et agencées de manière à permettre l'établissement d'oscillations laser présentant au moins deux fréquences d'oscillation de relaxation différentes.

Dans un premier mode de réalisation, les cavités résonnantes sont préférentiellement définies par des réflecteurs de Bragg distribués (de type DBR pour « Distributed Bragg Reflector ») et présentent des longueurs

optiques différentes et/ou sont associées à des longueurs d'onde différentes.

Les cavités résonnantes et le guide d'onde actif peuvent partager une partie au moins du milieu d'amplification. Mais en variante, les cavités résonnantes peuvent présenter des première et seconde directions sensiblement parallèles entre elles et sensiblement perpendiculaires à la direction longitudinale (Z). Dans ce cas, les cavités résonnantes partagent des portions différentes du milieu d'amplification du guide d'onde actif.

Par ailleurs, l'une au moins des cavités résonnantes peut comporter une structure d'amplification à interférences multi-mode (ou MMI pour « Multi Mode Interference »). Dans les zones multi-mode, le guide actif étant plus large, la cavité laser transverse est donc plus longue, ce qui peut permettre de soulager les contraintes sur le coefficient de réflexion des DBR transverses, qui intervient dans l'établissement de l'effet laser.

De telles cavités résonnantes peuvent être formées soit au niveau du milieu d'amplification dans un guide d'onde passif placé de part et d'autre des côtés longitudinaux du guide d'onde actif, soit dans un guide d'onde passif placé en dessous du guide d'onde actif, et de part et d'autre des côtés longitudinaux de ce dernier.

Dans un second mode de réalisation, les cavités résonnantes sont définies par une structuration formée le long des côtés longitudinaux du guide d'onde actif, parallèles à la direction longitudinale (Z), et présentant au moins une bande photonique interdite comportant au moins deux directions de réflexion différentes pour une longueur d'onde comprise dans la bande d'amplification du guide d'onde actif (à cette longueur d'onde les photons sont dans le mode guidé).

L'expression « structuration formée le long des côtés longitudinaux du guide d'onde actif » signifie que la structuration s'étend sur toute la longueur L de la région active de l'amplificateur optique, ou sur une partie de celle-ci, sensiblement parallèlement à un plan défini par les directions verticale (Y) et longitudinale (Z). Par ailleurs, on entend ici par « structuration à bande photonique interdite » un réseau n-dimensionnel (n étant de préférence égal à 2, mais pouvant également être égal à 1 ou à 3) dont les propriétés physiques offrent un contrôle de la propagation de la lumière, ce qui peut aller jusqu'à

l'interdire pour certaines longueurs d'onde dans certaines directions de l'espace.

Egalement de préférence, la structuration définit sensiblement un cristal photonique de trous ou de colonnes, qui constituent des éléments diffractants. Le pas ou la maille de ce cristal photonique présente des dimensions de l'ordre de la longueur d'onde (de fonctionnement) des photons dans le mode guidé qui circulent dans le guide d'onde actif. Par exemple, dans l'InP le pas est de l'ordre de 400 nm pour une longueur d'onde de fonctionnement d'environ 1500 nm. Plus préférentiellement encore, les trous ou colonnes s'étendent sensiblement parallèlement à la direction (Y) d'empilement des couches.

Par ailleurs, le cristal photonique est une structure dont la « cellule » de base est préférentiellement un triangle ou un carré. Le facteur de remplissage d'air de cette structure, défini comme le rapport entre la surface des trous et la surface totale, est préférentiellement de l'ordre d'environ 35%.

En outre, dans ce second mode de réalisation, le guidage latéral peut être assuré de la même façon que dans un ruban classique, ou par la structure à cristal photonique lorsqu'on lui retire une ou plusieurs rangées de trous.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe transversale schématique, dans le plan (YZ), d'un amplificateur optique CG-SOA de l'art antérieur,
- la figure 2 illustre de façon schématique un premier mode de réalisation d'un amplificateur optique CG-SOA selon l'invention, dans une vue en coupe transversale dans le plan (ZX),
- la figure 3 illustre de façon schématique une première variante du mode de réalisation de la figure 2, dans une vue dans le plan (ZX),
- la figure 4 illustre de façon schématique une seconde variante du mode de réalisation de la figure 2, dans une vue dans le plan (ZX),
- la figure 5 est une vue en coupe transversale schématique, dans le plan

(XY), d'un second mode de réalisation d'un amplificateur optique CG-SOA selon l'invention,

- la figure 6 illustre de façon schématique l'amplificateur optique de la figure 5, dans une vue en coupe transversale dans le plan (ZX),
- la figure 7 illustre de façon schématique les deux directions de réflexion privilégiées produites par un cristal photonique du type de celui utilisé dans le second mode de réalisation des figures 5 et 6, et
- la figure 8 est une vue en coupe transversale schématique, dans le plan (XY), d'une variante du second mode de réalisation illustré sur la figure 5.

Les dimensions des différents éléments constituant les amplificateurs optiques CG-SOAs illustrés sur les figures ne sont pas représentatives de leurs dimensions réelles respectives.

Le repère (X,Y,Z) illustré sur les figures 1 à 8 définit les directions perpendiculaires suivant lesquelles s'étend la structure formant un amplificateur optique CG-SOA. L'axe Z définit la direction longitudinale de l'amplificateur optique ou en d'autres termes sa longueur. L'axe X définit la direction latérale de l'amplificateur optique ou en d'autres termes sa largeur. Et l'axe Y définit la direction verticale d'empilement des couches (par convention, on appelle « partie inférieure » de l'amplificateur optique le bas de la figure 1, et « partie supérieure » de l'amplificateur optique le haut de la figure 1).

On se réfère tout d'abord à la figure 1 pour décrire un exemple d'amplificateur optique CG-SOA de l'art antérieur.

Un amplificateur optique CG-SOA comprend tout d'abord un guide d'onde actif 1 constitué d'un empilement de couches de matériaux semiconducteurs III-V d'amplification 2. Par exemple, le guide d'onde actif 1 comporte une couche centrale 1A en InGaAsP intrinsèque non dopé, présentant une énergie de bande interdite correspondant à une longueur d'onde d'environ 1,55 µm, et éventuellement intercalée entre deux couches 1B et 1C en InGaAsP intrinsèque non dopé présentant une énergie de bande interdite correspondant à une longueur d'onde d'environ 1,18 µm. Ce guide d'onde actif 1 est en forme de bandeau, de hauteur h (suivant la direction Y), de largeur l (suivant la direction X) et de longueur L1 (suivant la direction Z),

dont les extrémités sont éventuellement effilées (comme illustré sur les figures 2 à 4).

Le bandeau « actif » 1 (éventuellement effilé) est généralement enterré dans un matériau semiconducteur III-V, dit matériau supérieur 3, par exemple en InP dopé P. Par ailleurs, on peut placer en dessous (ou au dessus) du bandeau actif 1, à une distance choisie, un premier guide d'onde passif 4A constitué, par exemple, d'une couche en InGaAsP dopé présentant une énergie de bande interdite correspondant à une longueur d'onde d'environ 1,18 µm. Ce premier guide d'onde passif 4A se présente sous la forme d'un bandeau « passif » dont l'extension latérale (suivant la direction X) est sensiblement égale à celle (l) du bandeau actif 1, mais dont la longueur L2 (suivant la direction Z) est supérieure à L1. Le premier guide d'onde passif 4A et le matériau supérieur 3, dans lequel est enterré le guide d'onde actif 1, reposent sur une couche en matériau semiconducteur III-V, dite couche intermédiaire 5A, par exemple en InP dopé N, en-dessous de laquelle se trouve éventuellement placé un second guide d'onde passif 4B sensiblement identique au premier guide d'onde passif 4A. L'ensemble précité repose sur une couche inférieure 5B du même type que la couche intermédiaire 5A et elle-même placée sur un substrat 6 en matériau semiconducteur III-V, par exemple en InP massif. Enfin, la face inférieure du substrat 6 (opposée à la couche inférieure 5) est recouverte d'une couche de métallisation 7.

Le guide d'onde actif 1 est couplé à une cavité résonnante, délimitée ici par deux réseaux de Bragg distribués (ou DBR pour « Distributed Bragg Reflector ») 8, formés dans le premier guide d'onde passif 4A au niveau des deux extrémités longitudinales du guide d'onde actif 1. Ces réseaux de Bragg distribués 8 sont par exemple constitués de bandes parallèles à la direction latérale X et en matériau semiconducteur III-V, tel que l'InGaAsP, dont les proportions et les dimensions permettent de fixer la force du réseau de Bragg. Ces réseaux de Bragg 8 constituent avec le matériau d'amplification 2 du guide d'onde actif 1 une cavité résonnante dans laquelle l'effet laser se produit et qui permet de stabiliser (« clamp ») la densité de porteurs de la structure, et par conséquent son gain dans la direction longitudinale Z.

En outre, la face supérieure de la couche supérieure 3, dans laquelle

est enterré le guide d'onde actif 1, est recouverte d'une couche terminale 9 en matériau semiconducteur III-V, par exemple en InGaAs, et la face supérieure de cette couche supérieure est recouverte d'une couche de métallisation 10 dans la partie placée au dessus dudit guide d'onde actif 1. Les couches de métallisation 7 et 10, placées aux extrémités inférieure et supérieure de la structure, permettent d'injecter dans l'amplificateur optique CG-SOA un courant de commande d'une intensité choisie.

Les faces d'extrémité longitudinales 11 et 12 de la structure, qui constituent les facettes de l'amplificateur optique, sont recouvertes d'une couche anti-réfléchissante (AR) présentant sensiblement le même coefficient de réflectivité (par exemple inférieure à 10^{-3}), de manière à minimiser les réflexions.

Enfin, dans ce type de structure, formant un amplificateur optique, la puissance d'entrée P_{in} est introduite par l'une des extrémités longitudinales et la puissance de sortie P_{out} est collectée au niveau de l'extrémité longitudinale opposée.

On se réfère maintenant à la figure 2 pour décrire un premier mode de réalisation d'un amplificateur optique CG-SOA selon l'invention.

L'invention propose un amplificateur optique à semiconducteurs à gain stabilisé (ou CG-SOA) qui reprend sensiblement l'agencement des amplificateurs optiques CG-SOAs de l'art antérieur, décrit ci-avant, en référence à la figure 1, à l'exception de la structure d'oscillations laser.

Dans l'exemple illustré, on ne prévoit qu'une unique couche définissant un unique guide d'onde passif 4, et par conséquent au lieu d'une couche intermédiaire 5A et d'une couche inférieure 5B on ne prévoit plus qu'une unique couche 5. Mais bien entendu, on pourrait conserver l'agencement décrit en référence à la figure 1 et comprenant des couches 4A, 4B, 5A et 5B.

Par ailleurs, la structure d'oscillations laser selon l'invention est constituée par au moins deux cavités résonnantes 13 et 14 qui s'étendent sensiblement à un même niveau au moins dans le guide d'onde passif 4, selon des première D1 et seconde D2 directions, différentes de la direction longitudinale Z du guide d'onde actif 1.

Ces deux cavités résonnantes 13 et 14 sont agencées de manière à permettre l'établissement d'oscillations de relaxation présentant au moins deux fréquences différentes pour stabiliser (« clamp ») la densité des porteurs. Les oscillations de relaxation des différents lasers de la structure, qui assurent une stabilisation latérale et distribuée du gain, sont ainsi déphasées et la somme de leurs contributions devient sensiblement constante en fonction du temps. Par conséquent, les oscillations globales, qui sont vues par les ondes amplifiées qui se propagent dans le guide d'onde actif 1, disparaissent.

Plus précisément, lorsque la densité de porteurs N est soumise à une perturbation, elle varie en fonction du temps selon la loi :

$$dN(t) = dN_0 \, e^{-\gamma t/2} \cos(\omega_{osc} t)$$

où ω_{osc} est la fréquence observée des oscillations de relaxation définie par $\omega_{osc} = \omega_R \sqrt{1-(\frac{\gamma}{2\omega_R})^2}$.

La fréquence ω_{osc} et le facteur d'amortissement γ (ou « damping ») peuvent être modifiés en jouant sur la longueur optique de la cavité résonnante.

Maintenant, lorsque plusieurs cavités latérales génèrent des oscillations laser, les ondes amplifiées dans l'amplificateur optique traversent ces cavités successivement. Une variation de la puissance d'entrée crée des oscillations de la densité de porteurs dans chaque cavité. Du fait que ces cavités peuvent avoir des fréquences d'oscillations et des facteurs d'amortissement différents, l'effet cumulatif d'amplification conduit à une puissance de sortie dont la dynamique est moins fluctuante. Les ondes amplifiées dans l'amplificateur optique voient donc une modulation de la densité de porteurs dN fonction de la valeur moyenne de ces différentes oscillations.

Les deux cavités résonnantes 13 et 14 sont préférentiellement définies, chacune, par deux réflecteurs de Bragg, de type réseau de Bragg distribué (ou DBR), placés de part et d'autre des côtés longitudinaux du milieu d'amplification 2 au moins dans une partie du guide d'onde passif 4 placé en

dessous (ou, en variante, au dessus) de celui-ci à une distance, suivant la direction verticale Y, choisie de manière à permettre leur couplage avec le milieu d'amplification 2. A cet effet, et contrairement au CG-SOA de l'art antérieur, le guide d'onde passif 4 du CG-SOA de l'invention présente une extension latérale l2 (suivant la direction X) très largement supérieure à celle (l1) du guide d'onde actif 1. La fréquence optique de chaque laser est entièrement déterminée par le pas du réseau de Bragg correspondant.

Les réseaux de Bragg n'étant pas enterrés, on peut obtenir des contrastes élevés. Une réflectivité de 99% peut ainsi être obtenue avec un milieu d'amplification 2 présentant une longueur d'environ 5 µm et un nombre de période du réseau égal à trois pour un contraste d'indice de 1,0/3,22, ou égal à quatre pour un contraste d'indice de 1,5/3,22, ou égal à six pour un contraste d'indice de 2,0/3,22, ou encore égal à onze pour un contraste d'indice de 2,5/3,22.

Pour obtenir deux fréquences d'oscillations de relaxation différentes, les cavités résonnantes 13 et 14 peuvent présenter des longueurs optiques différentes et/ou être constituées de façon différente de manière à être associées à des longueurs d'onde différentes.

Dans l'exemple illustré sur la figure 2, les deux cavités résonnantes partagent sensiblement la même portion de milieu d'amplification 2, et présentent à la fois des longueurs optiques différentes et des réseaux de Bragg différents associés à des longueurs d'onde différentes. De plus, ces deux cavités résonnantes ne présentent pas de relation de phase.

Afin d'éviter l'utilisation de courants de commande trop élevés, l'une au moins des cavités résonnantes 13 et 14 peut présenter une longueur active légèrement accrue par le biais d'une structure de type MMI pour « Multi Mode Interference » placée le long du guide d'onde actif 1. Ce type de structure MMI est décrit, notamment, dans le document de L.B. Soldano et E.C.M. Pennings « Optical multimode interference devices based on self-imaging : principles and applications », Journal of Lightwave Technology, Vol. 13, N°4, avril 1995, pp 615-627. Une telle structure permet en effet d'élargir le guide actif, sur une longueur donnée, tout en permettant de retrouver à la sortie du MMI une onde monomode qui se couple sans perte dans le guide

d'onde de l'amplificateur. Cela revient à augmenter la surface active 15 et donc la longueur active des lasers correspondants. Cette variante de l'amplificateur optique CG-SOA de la figure 2 est illustrée schématiquement sur la figure 3.

Dans les deux exemples présentés ci-avant, en référence aux figures 2 et 3, les deux cavités résonnantes 13 et 14 s'étendent selon des directions D1 et D2, différentes l'une de l'autre et différentes de la direction longitudinale Z du guide d'onde actif 1. Dans ce cas, les angles entre les directions D1 et Z, d'une part, et D2 et Z, d'autre part, sont aiguës, et typiquement de l'ordre de 30°. Il est préférable de choisir des angles de faible valeur de sorte que le laser couvre une partie importante du guide d'onde actif 1.

Mais, comme illustré sur la figure 4, les deux cavités résonnantes 13 et 14 peuvent s'étendre selon des directions D1 et D2, sensiblement identiques et donc sensiblement perpendiculaires à la direction longitudinale Z du guide d'onde actif 1. Dans cette variante des modes de réalisation des figures 2 et 3, les deux cavités résonnantes 13 et 14 présentent des réseaux de Bragg et des longueurs physiques sensiblement identiques, mais elles comportent des structures de type MMI différentes qui induisent des surfaces d'amplification 16 et 17 différentes et donc des longueurs optiques différentes, ce qui se traduit par des fréquences d'oscillation de relaxation différentes. De plus, dans cette variante, les deux cavités utilisent des portions de milieu d'amplification totalement différentes.

Dans une autre variante, les deux cavités résonnantes pourraient comporter des réseaux de Bragg différents et/ou présenter des longueurs physiques différentes avec ou sans structure de type MMI, éventuellement différentes.

On se réfère maintenant aux figures 5 à 7 pour décrire un autre mode de réalisation d'un amplificateur optique CG-SOA selon l'invention.

Ce mode de réalisation comporte une structure d'oscillations laser dont les cavités résonnantes sont très différentes de celles présentées ci-avant en référence aux figures 2 à 4.

Le guide d'onde actif 1 est ici couplé à un réflecteur distribué réalisé sous la forme de deux réseaux diffractants 18 et 19 identiques, formés de part

et d'autre des côtés longitudinaux dudit guide d'onde actif 1, définis par le plan (YZ), dans une partie au moins de la couche supérieure 3, dans laquelle est enterré le guide d'onde actif 1, et dans le guide d'onde passif 4. Plus précisément, pour des raisons pratiques liées à la technique de fabrication des réseaux diffractants 18 et 19, ceux-ci s'étendent suivant la direction verticale Y sur toute la hauteur de la couche supérieure 3 placée au dessus des parties latérales du guide d'onde passif 4, lesquelles débordent de part et d'autre des deux côtés longitudinaux du guide d'onde actif 1.

Chaque réseau diffractant 18, 19 est ici une structuration particulière, dite « à bande photonique interdite », de la couche supérieure 3 et du guide d'onde passif 4. Dans ce qui suit on assimile un réseau diffractant à sa structuration.

Ce type de réseau n-dimensionnel (n étant de préférence égal à 2, mais pouvant également être égal à 1 ou à 3) est bien connu de l'homme de l'art. Il est notamment décrit dans le document de E. Yablanovitch, J. opt. Soc. Am. B 10, 283 (1993), « photonic bandgap structures ».

Les deux réseaux diffractants 18 et 19 sont ici conçus de manière à posséder (au moins) une bande d'énergie qui est interdite à certains photons de lumière qui sont émis dans le guide d'onde actif 1. Dans cette bande interdite il existe au moins deux directions particulières D1 et D2 (comme illustré sur la figure 7), pour lesquelles la réflexion est particulièrement importante pour certaines longueurs d'onde qui se trouvent dans la bande d'amplification du guide d'onde actif. De ce fait, l'effet laser peut se produire dans ces directions si le gain est suffisant. Dans ce mode de réalisation, ce sont les réflexions de Bragg selon ces deux directions D1 et D2 qui permettent d'obtenir deux fréquences d'oscillations de relaxation différentes.

En d'autres termes, les deux réseaux diffractants 18 et 19 définissent conjointement une multitude de cavités résonnantes qui s'étendent selon lesdites directions D1 et D2 et permettent d'obtenir la stabilisation latérale et distribuée du gain de la structure formant l'amplificateur optique.

Préférentiellement, la structuration 18, 19 s'étend au moins sur la totalité de la longueur L1 du guide d'onde actif 1 et sur tout ou partie de l'extension latérale de la partie de la couche supérieure 3 qui est placée au

dessus des parties latérales du guide d'onde passif 4, placées de part et d'autre du guide d'onde actif 1. Il est en effet important que la structuration s'étende sensiblement sur la largeur du mode optique ou au moins sur une partie de celui-ci.

Dans l'exemple illustré sur les figures 5 à 7, la structuration 18, 19 définit un cristal photonique de trous 20 qui s'étendent sensiblement suivant la direction verticale (axe Y) et constituent des éléments diffractants qui assurent une variation périodique de la constante diélectrique. De tels trous 20 peuvent être réalisés à l'aide de techniques de gravure connues de l'homme de l'art, comme par exemple la gravure sèche de motifs nanométriques définis préalablement par lithographie de faisceau d'électrons. Grâce à ce mode de réalisation du réflecteur distribué on évite les étapes de reprise de croissance souvent délicates et onéreuses.

En variante, on pourrait réaliser un cristal photonique de colonnes à la place du cristal photonique de trous.

Ce cristal photonique est préférentiellement un pavage de polygones convexes sensiblement jointifs et partageant chacune de leurs arêtes avec un unique voisin. Le nombre de périodes suivant l'axe Z et le pas du pavage (ou réseau) et les dimensions des trous (ou colonnes) sont choisis en fonction des directions D1 et D2 de réflexion privilégiée, et bien entendu de la longueur d'onde des photons dans le mode guidé (longueur d'onde de fonctionnement de l'amplificateur optique). Ce pas est typiquement de l'ordre de la longueur d'onde de ces photons. Par ailleurs, le type du pavage (tout comme le pas) est choisi en fonction des directions particulières D1 et D2 de la bande photonique interdite, pour lesquelles la réflexion est particulièrement importante pour certaines longueurs d'onde.

Comme illustré, ce type est de préférence triangulaire équilatéral. Mais, il pourrait également s'agir de carrés ou de losanges dont les arêtes sont de tailles sensiblement égales.

Dans ce type de réseau bidimensionnel triangulaire équilatéral, les réflexions se produisent dans les directions privilégiées D1 et D2 pour des longueurs d'onde λ_B déterminées par la condition de Bragg $\lambda_B = n_{eff}\sqrt{3}\,a$, où n_{eff} est l'indice moyen de la structuration et a le pas du réseau (ou constante

du réseau).

Par ailleurs, la longueur d'interaction L_C entre les photons et les électrons est donnée par la relation $L_C = \frac{2n+1}{2}\sqrt{3}\,a$, pour un guide de type Wn désignant un cristal photonique dans lequel n rangées de trous ont été enlevées. Dans le cas (illustré) d'un guide à cristal photonique de type W2, on déduit de la relation précédente : $L_C = \frac{5}{2}\sqrt{3}\,a$.

Il est rappelé que les deux vecteurs de base qui définissent la maille d'un cristal triangulaire dans l'espace réel sont donnés par :

$$\vec{a}_1 = \frac{a}{2}(\vec{u}_x + \sqrt{3}\vec{u}_z) \qquad \vec{a}_2 = \frac{a}{2}(\vec{u}_x - \sqrt{3}\vec{u}_z)$$

où $\vec{u}_x$ et $\vec{u}_z$ sont les vecteurs unitaires suivant les axes X et Z, respectivement.

Par ailleurs, les vecteurs de base dans l'espace réciproque sont donnés par :

$$\vec{b}_1 = \frac{2\pi}{a}(\vec{u}_x + \sqrt{3}\vec{u}_z)/2 \qquad \vec{b}_2 = \frac{2\pi}{a}(\vec{u}_x - \sqrt{3}\vec{u}_z)/2$$

On peut constater que c'est également un réseau triangulaire dans l'espace réciproque, avec une rotation de 90° par rapport à l'espace réel.

En outre, la condition de Bragg pour une onde incidente de vecteur $\vec{k}_i$ est donnée par la relation :

$\vec{k}_f = \vec{k}_i + \vec{G}$

où $\vec{k}_f$ est le vecteur d'onde pour lequel la diffraction est maximale, et $\vec{G}$ est le vecteur d'onde dans l'espace réciproque, donné par la relation :

$\vec{G} = m\vec{b}_1 + n\vec{b}_2$

où m et n sont deux entiers.

Avec ces définitions, une oscillation laser peut s'établir lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

$$\vec{k}_f = -\vec{k}_i \qquad \vec{k}_f = \vec{G}/2$$

Plusieurs solutions remplissant les conditions précitées d'oscillations laser, il existe donc plusieurs directions privilégiées telles que D1 (c'est-à-dire $\vec{b}_1$) et D2 (c'est-à-dire $\vec{b}_2$). Dans un réseau triangulaire du type de celui illustré, l'angle entre D1 et l'axe z est de 30°, et l'angle entre D1 et D2 est de

120°.

Il ressort de la relation mentionnée ci-dessus, qu'il existe une multiplicité de directions privilégiées (définies par toutes les combinaisons de m et n). Mais, il est plus facile d'atteindre les conditions d'oscillations laser suivant les directions D1 et D2, du fait d'une forte réflexion et d'une longueur de cavité importante dans ces directions.

A titre d'exemple illustratif, pour une longueur d'onde de fonctionnement de l'amplificateur optique CG-SOA d'environ 1,55 µm dans l'air, la valeur du pas du réseau a est d'environ 450 nm.

Par exemple, pour obtenir une longueur d'onde d'émission d'environ 1,55 µm dans l'air, avec un dispositif présentant un indice effectif d'environ 3,2, le pas du réseau doit être d'environ 450 nm, l'extension latérale (X) du cristal doit être au moins égale à celle du mode transverse, soit typiquement 4 µm de chaque côté. Par ailleurs, la distance de séparation d entre les côtés longitudinaux (ou latéraux) du guide d'onde actif 1 et les cristaux photoniques 18 et 19 est typiquement de l'ordre du micromètre, par exemple comprise entre 0 et 2 µm, de manière à permettre une bonne interaction entre la lumière guidée et les trous.

On se réfère maintenant à la figure 8 pour décrire une variante du mode de réalisation illustré sur les figures 5 à 7.

Ce qui différencie ce mode de réalisation du précédent, c'est le fait que le guide d'onde actif 1 n'est plus réalisé sous la forme d'un bandeau (éventuellement effilé), mais sous la forme d'une structure multicouches de largeur l2 sensiblement égale à celle l1 de la couche constituant le guide d'onde passif 4. Par conséquent, le guide d'onde actif 1 n'est plus enterré dans une couche 3, mais il est placé (dans cet exemple) entre deux couches 3A et 3B, la couche 3B étant ici placée au-dessus du guide d'onde passif 4.

Les deux réseaux diffractants 18 et 19 sont toujours formés suivant les côtés longitudinaux du guide d'onde actif 1, définis par le plan (YZ). Mais, dans cette variante, ils sont formés dans une partie au moins de la couche 3A, dans la couche 3B, dans le guide d'onde passif 4, ainsi que dans ledit guide d'onde actif 1. En outre, on retire une ou plusieurs rangées de trous à la structuration 18, 19, de sorte qu'elle définisse les cavités résonnantes tout en

assurant le confinement latéral des porteurs.

Il est important de noter que la couche 3B, le guide d'onde passif 4, et les couches 1B et 1C sont optionnels. Par conséquent, lorsque l'on ne prévoit qu'un guide d'onde actif 1, constitué de la seule région active 2 (ou couche 1A), les réseaux diffractants 18 et 19 sont formés dans une partie au moins de la couche 3A et dans ledit guide d'onde actif 1.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

REVENDICATIONS

1. Amplificateur optique à semiconducteurs à gain stabilisé, comprenant un guide d'onde actif (1) comportant un milieu d'amplification (2), s'étendant selon des directions longitudinale (Z), latérale (X) et verticale (X), et couplé à une structure d'oscillations laser, caractérisé en ce que ladite structure d'oscillations laser comporte au moins deux cavités résonnantes (13,14 ;18,19) s'étendant selon des première (D1) et seconde (D2) directions différentes de ladite direction longitudinale (Z) du guide d'onde actif (1) et agencées de manière à permettre l'établissement d'oscillations laser présentant au moins deux fréquences d'oscillation de relaxation différentes.

2. Amplificateur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdites cavités résonnantes (13,14) présentent des longueurs optiques différentes.

3. Amplificateur optique selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que lesdites cavités résonnantes (13,14) sont associées à des longueurs d'onde différentes.

4. Amplificateur optique selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdites cavités résonnantes (13,14) et ledit guide d'onde actif (1) partagent au moins en partie ledit milieu d'amplification (2).

5. Amplificateur optique selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdites cavités résonnantes (13,14) présentent des première (D1) et seconde (D2) directions sensiblement parallèles entre elles et sensiblement perpendiculaires à ladite direction longitudinale (Z), et partagent chacune des portions différentes dudit milieu d'amplification (2) du guide d'onde actif (1).

6. Amplificateur optique selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'une au moins desdites cavités résonnantes (13,14) comporte une structure d'amplification à interférences multi-mode.

7. Amplificateur optique selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lesdites cavités résonnantes (13,14) sont définies par

des réflecteurs de Bragg distribués.

8. Amplificateur optique selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que lesdites cavités résonnantes (13,14) sont formées au moins dans un guide d'onde passif (4), placé au dessous dudit guide d'onde actif (1), de part et d'autre des côtés longitudinaux dudit guide d'onde actif (1).

9. Amplificateur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdites cavités résonnantes (18,19) sont définies par une structuration formée le long des côtés longitudinaux dudit guide d'onde actif (1), parallèles à ladite direction longitudinale (Z), et présentant au moins une bande photonique interdite comportant au moins deux directions de réflexion différentes (D1, D2) pour une longueur d'onde des photons comprise dans la bande d'amplification dudit guide d'onde actif (1).

10. Amplificateur optique selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite structuration (18,19) est réalisée au moins en partie dans une couche supérieure (3), dans laquelle est enterré ledit guide d'onde actif (1), et dans un guide d'onde passif (4), le long des côtés longitudinaux dudit guide d'onde actif (1).

11. Amplificateur optique selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite structuration (18,19) est réalisée dans ledit guide d'onde actif (1), de part et d'autre de son axe longitudinal, ainsi que dans une partie au moins d'une couche supérieure (3), placée au-dessus dudit guide d'onde actif (1), et dans un guide d'onde passif (4), placés en dessous dudit guide d'onde actif (1).

12. Amplificateur optique selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que ladite structuration (18,19) définit sensiblement un cristal photonique de trous (20) ou de colonnes constituant des éléments diffractants, et définissant une maille de l'ordre de la longueur d'onde des photons dans le mode guidé circulant dans ledit guide d'onde actif.

13. Amplificateur optique selon la revendication 12 en combinaison avec l'une des revendications 10 et 11, caractérisé en ce que lesdits trous (20) ou colonnes s'étendent sensiblement parallèlement à ladite direction verticale (Y) du guide d'onde actif (1).

14. Amplificateur optique selon l'une des revendications 12 et 13,

caractérisé en ce que ledit cristal photonique est un pavage de polygones convexes sensiblement jointifs et partageant chacune de leurs arêtes avec un unique voisin.

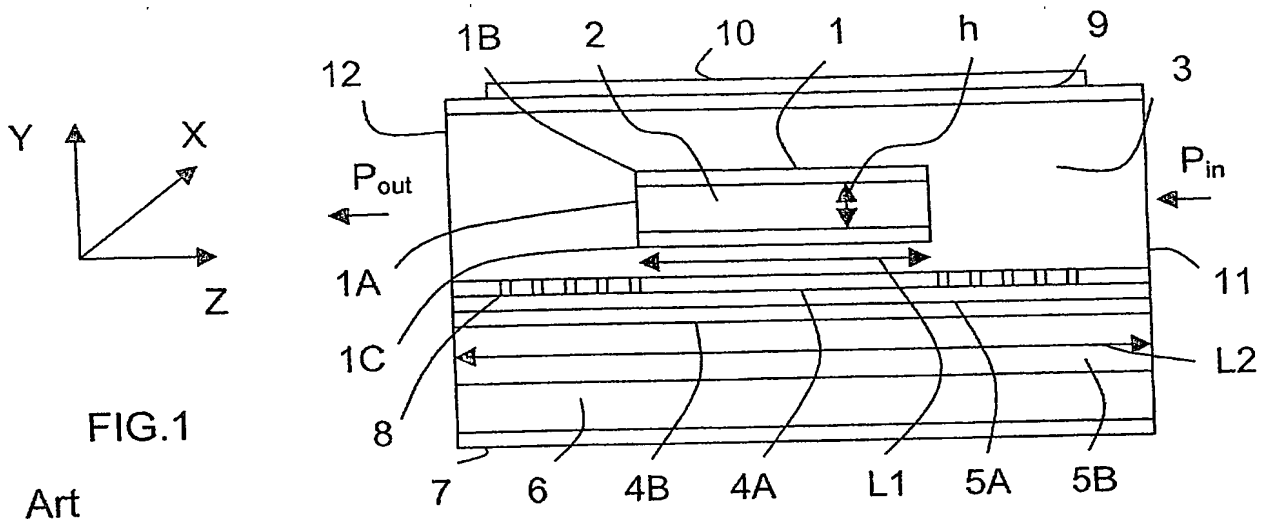


FIG.1

Art

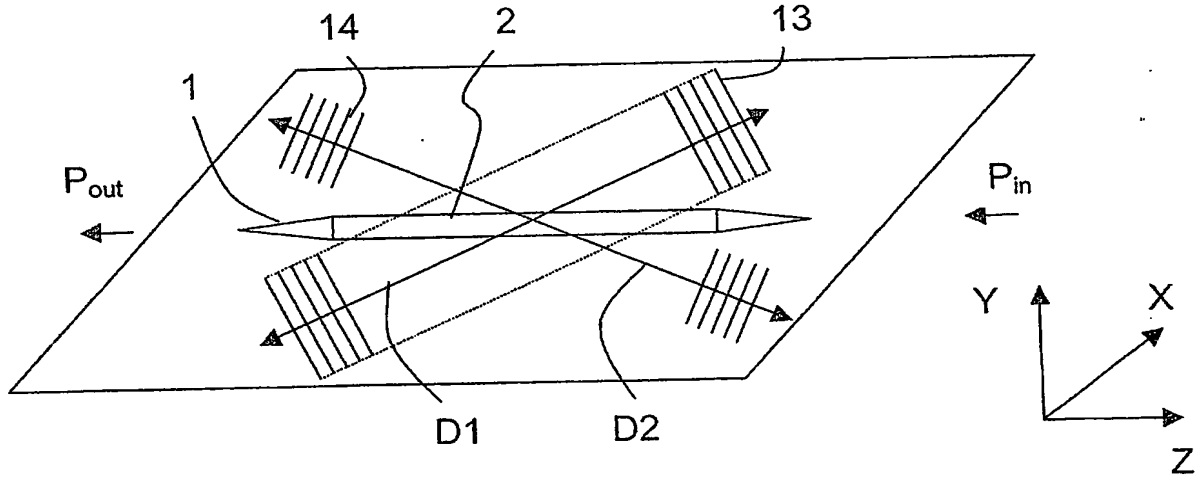


FIG.2

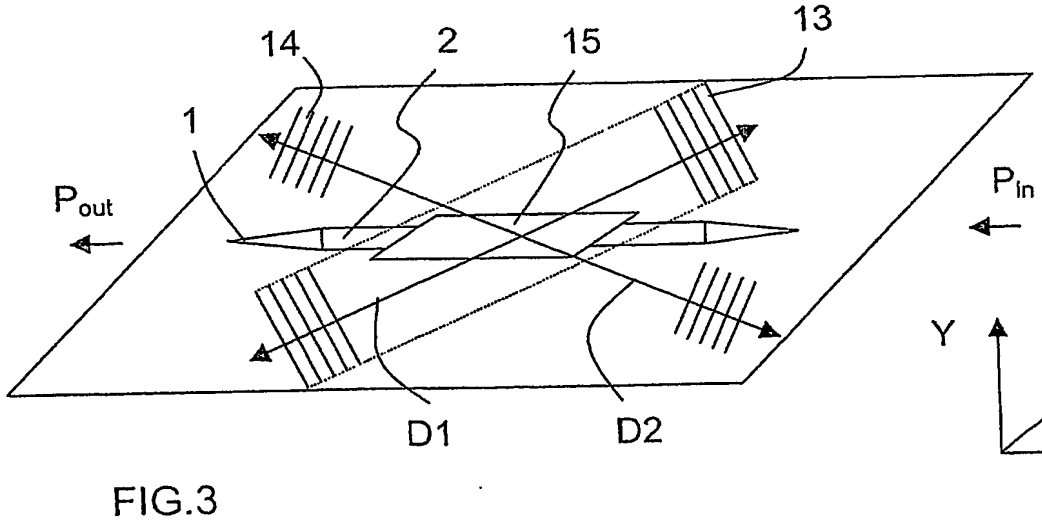


FIG.3

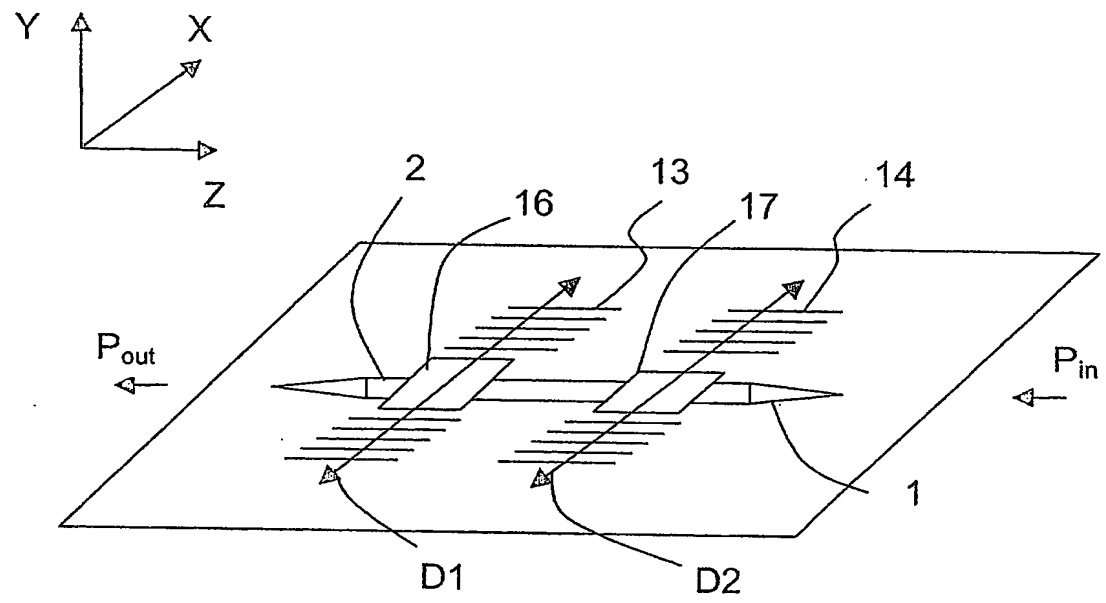

Y
X
Z
2
16
13
17
14
P_{out}
P_{in}
1
D1
D2

FIG.4

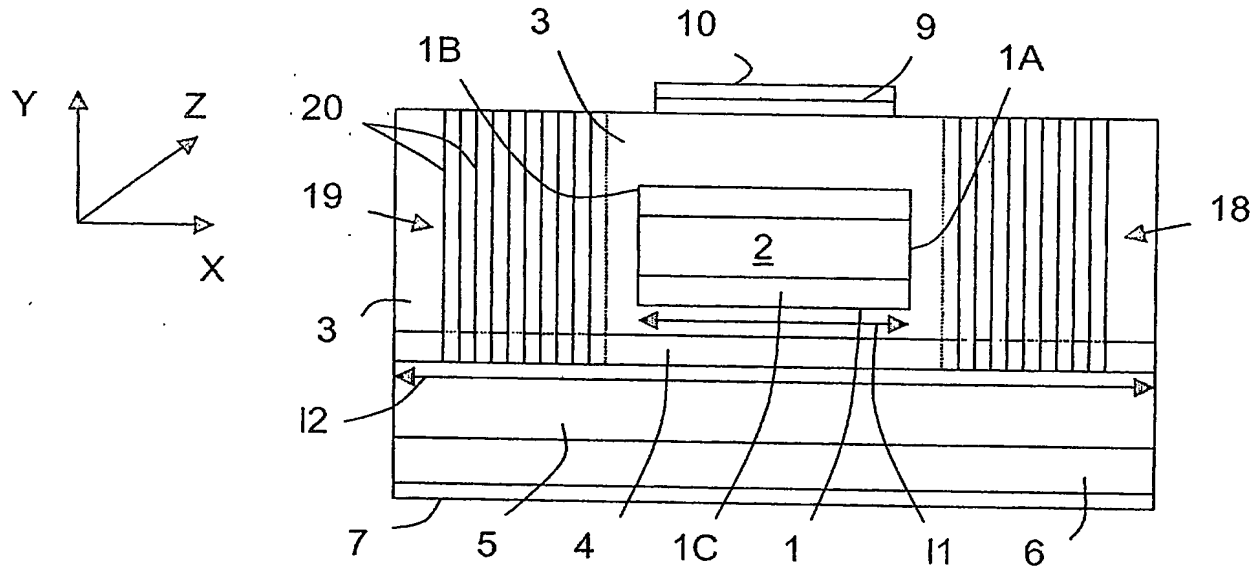

Y
Z
X
3
10
9
1B
1A
20
19
18
2
3
I2
7
5
4
1C
1
I1
6

FIG.5

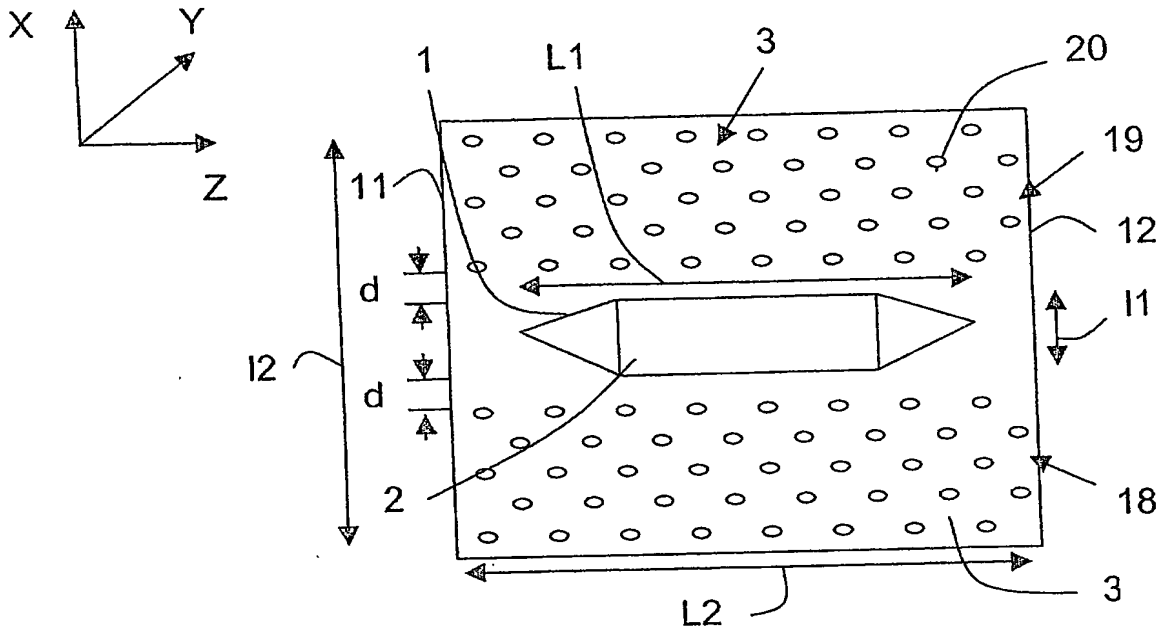


FIG.6

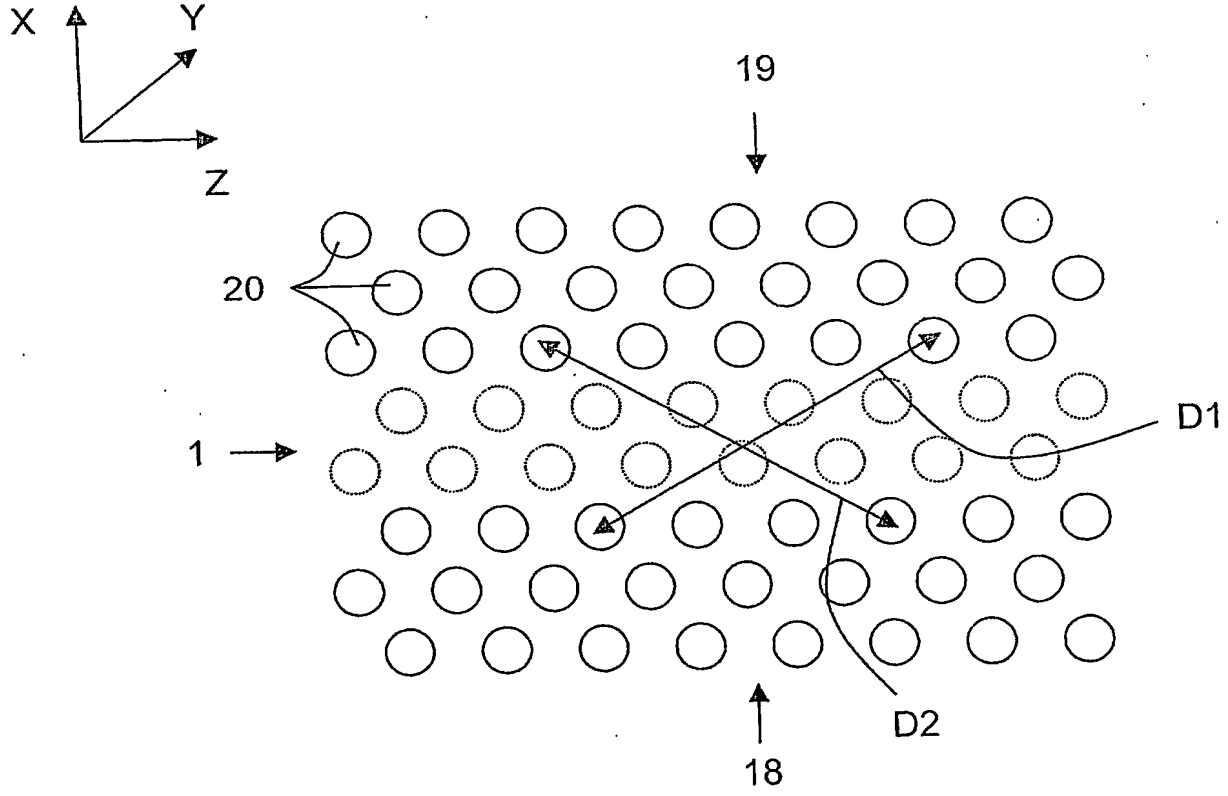


FIG.7

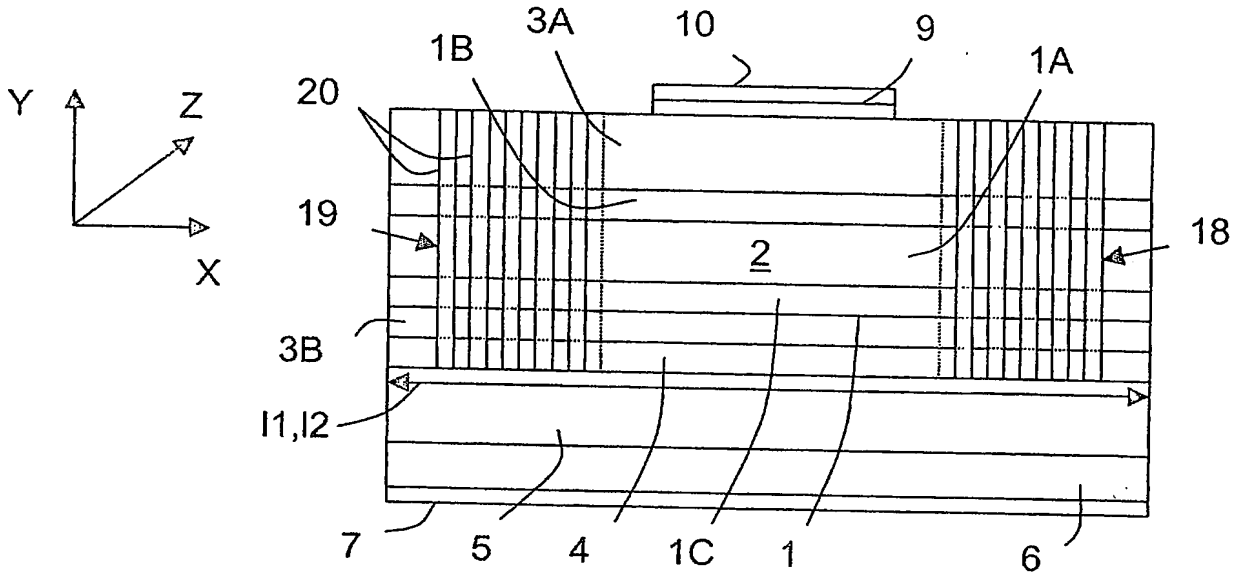


FIG.8

reçue le 29/01/03

INPI
INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11235

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1 / 2

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

Vos références pour ce dossier *(facultatif)*	104334/RF/OOCD/TPM
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0212825

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

AMPLIFICATEUR OPTIQUE A SEMICONDUCTEURS A STABILISATION DE GAIN LATERALE ET DISTRIBUEE

LE(S) DEMANDEUR(S) :

Société anonyme **ALCATEL**

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).

Nom		DAGENS
Prénoms		Béatrice
Adresse	Rue	20, RUE FONDOUZE
	Code postal et ville	92160 ANTONY, FRANCE
Société d'appartenance *(facultatif)*		
Nom		BRENOT
Prénoms		Romain
Adresse	Rue	70, RUE DU FAUBOURG ST MARTIN
	Code postal et ville	75010 PARIS, FRANCE
Société d'appartenance *(facultatif)*		
Nom		DUAN
Prénoms		Guang-Hua
Adresse	Rue	31, RUE CHÂTEAUBRIAND
	Code postal et ville	92290 CHATENAY MALABRY, FRANCE
Société d'appartenance *(facultatif)*		

DATE ET SIGNATURE(S)
~~DU (DES) DEMANDEUR(S)~~
~~XX~~ DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

14 octobre 2002
Michel Robert FOURNIER

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

INPI
INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11235*02

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2 / 2

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

Vos références pour ce dossier *(facultatif)*	104334/RF/OOCD/TPM
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0212825

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

AMPLIFICATEUR OPTIQUE A SEMICONDUCTEURS A STABILISATION DE GAIN LATERALE ET DISTRIBUEE

LE(S) DEMANDEUR(S) :

Société anonyme ALCATEL

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).

Nom		HESSLER
Prénoms		Thierry
Adresse	Rue	ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE ECUBLENS
	Code postal et ville	1015 LAUSANNE, SUISSE
Société d'appartenance *(facultatif)*		
Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance *(facultatif)*		
Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance *(facultatif)*		

DATE ET SIGNATURE(S)
DU (DES) DEMANDEUR(S)
OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

14 octobre 2002
Michel Robert FOURNIER

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☑ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.
As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.